**إنشاء ومواد البناء**
**المرحلة الثانية – قسم المنشات والموارد المائية**
**المحاضرة الحادية عشر: أعمال الخرسانة Concrete works**

**الخرسانة Concrete:-** هي مادة انشائية تتكون من نسب معينة من مواد اساسية هي الاسمنت والماء والركام بنوعيه الناعم والخشن، ونسب هذه المواد هي ( 10-15)% اسمنت، (60-70)% ركام خشن وناعم، (15-20)% ماء، (5-8)% هواء محبوس داخل الخرسانة. عند الخلط الجيد لهذه المواد تتماسك وتسمى هذه العملية بتصلب الخرسانة التي تستخدم في العمليات الأنشائية، تتميز الخرسانة بأنها قوية أمام الضغط وضعيفة أمام الشد حيث تبلغ مقاومتها للشد ١٠% من مقاومتها للضغط. ويضاف الى هذا الخليط بنسب بسيطة المواد المضافة لتحسين بعض خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة. وتكون نسب المواد الاساسية في الخلطة الخرسانية محددة بطريقة علمية وعملية حيث توجد عدة طرق لتصميم الخلطات الخرسانية وتهدف كل هذه الطرق الى تحديد نسب المواد الاساسية في الخلطة الخرسانة للوصول الى خواص جيدة ومقبولة للخرسانة في حالتيها الطرية او الطازجة، والمتصلبة او المتصلدة

**مكونات االخرسانة :-** تعمل الخرسانة من الواد التالية:-

- السمنت.
- الركام.
- الماء.
- المضافات.

تدخل المواد المذكورة في تكون الخرسانة بنسب متباينة حسب تصميم المزجة.

١. **السمنت في الخرسانة Cement:-** هي نوع من المواد الكلسية الهيدروليكية التي تحتوي على بعض المكونات الاخرى تحترق بدرجة عالية ثم تطحن بنعومة كبيرة. تطلق تسمية المادة السمنتية على أي مادة صلبة تكون بشكل مسحوق قابل للامتزاج والتفاعل مع الماء والتحول عند الجفاف الى مادة لاصقة وصلدة. وتوجد انواع متعددة من الاسمنت يتم استخدام كل نوع حسب الغرض المصنوع لاجله.

٢. **الركام Aggregate:-** هو عبارة عن جسيمات ذات مقاسات متباينة وتكون مادته صلدة وقوية بدرجة كافية وخاملة أي (لاتتفاعل مع السمنت والماء). نسبة المواد الضارة في الركام يجب ان تكون بنسبة لاتتجاوز اعلى من الحد المبين في المواصفات وتشمل تلك المواد الاملاح وخاصة الكبريتية والكلورات وغيرها من المواد الكيمياوية والمواد العضوية والمواد الناعمة جدا. ويشكل الركام معظم حجم الخرسانة (٦٥- ٨٠)% من الحجم الكلي. يحدد مقاس الركام بامراره من خلال فتحات مربعة لغرابيل او مناخل قياسية.

يصنف الركام الى:-

- الركام طبيعي:- وهو الذي يتكون من مواد طبيعية مثل الركام السيليكي الطبيعي مثل الحصى والرمل او الركام المستحصل من تكسير الصخور المناسبة والحصى الكبير المقاس او من مواد الحمم البركاني المتصببة.
- الركام الصناعي:- وهو الذي ينتج من مواد منتجة بطريقة صناعية مثل الطابوق المكسر او خبث الفرن العالي او الطين المنفوخ بفعل الحرارة وغيره.

**تدرج الركام:-** يعتبر مقاس ٤,٧٥ ملم تقريبا الحد الفاصل بن نوعي الركام. ويقسم الركام الى :-

١. الركام الخشن Course Aggregate (حصى خشن، حصى):- هو الركام الذي يتكون من الحصى وكسر الحجر أو مواد ملائمة أخرى مقاسها اكبر من قطر ( 4/1) انج. ويتميز الركام الخشن بكونه مقاوم للتآكل ، قاسي ومتين ويكون ملائم جدا لصناعة الخرسانة .

٢. الركام الناعم Fine Aggregate ( رمل خشن ، رمل ناعم ، رمل ناعم جدا ):- هو الركام الذي يتكون من الرمل أو مواد ناعمة ، والخرسانة الجيدة هي الخرسانة التي تحوي على رمل تختلف حبيباته في المقاس اختلافا تدريجيا .

**٣. الماء Water:-** يدخل في مكونات الخلطة الخرسانية بشكل رئيسي ويساعد على التماسك والحصول على مقاومه تشغيل عالية. ان الماء المستخدم في الخرسانة يجب ان يكون نظيفا وخاليا من المواد الضارة كالزيت والاحماض والقلويات والاملاح الاخرى التي قد تؤثر سلبيا على خواص الخرسانة او صلب التسليح. لقد حدد الكود العربي لعام ١٩٧٧ الحد الاعلى المسموح به للاملاح في ماء الخلط كالاتي:-

املاح الكلوريدات لاتزيد عن ٠,٥ غم/ لتر.

املاح الكبريتات لاتزيد عن ٠,٣ غم/ لتر.

الاملاح الكلية لاتزيد عن ٢ غم/ لتر.

٤. **المضافات Additive :-** هي عبارة عن مواد أو تراكيب من عدة مواد تضاف للخرسانة أثناء الخلط لتحسين خاصية أو أكثر من خواص الخلطة الخرسانية وإكسابها ميزات جديدة تتناسب مع الأغراض والمتطلبات التي عدت من اجلها سواء كان تجهيزها بواسطة محطات الخلط المركزية أو مصانع الخرسانة المسبقة الإجهاد أو الخلط الموقعي . تكون المواد المضافة للخرسانة على خلاف مكونات الخلطة الخرسانية المكونة من ماء واسمنت وركام أي أن المادة تضاف إلى ماء الخلطة قبل أو بعد الخلط لإعطائها خواص مطلوبة في ظروف العمل.

إن الهدف من المضافات هي تعديل الخواص واحد او اكثر مما يلي:-

١. تحسين قابلية تشغيل الخرسانة الطرية.
٢. انقاص كمية الماء الممكن استعمالها بالمزجة.
٣. تحسين مقاومة الخرسانة لتاثير الانجماد والعوامل الجوية.
٤. تعجيل او ابطاء التماسك و\او التصلب
٥. تحسين التماسك بين الخرسانة القديمة والجديدة.
٦. الحصول على خرسانة مقاومة وعازلة للماء أو مقاومة للكيماويات أو للاحتكاك.
٧. مقاومة انكماش التجفيف او جعل الخرسانة تمددية
٨. تعجيل زمن التجمد الابتدائي للحصول على مقاومة أكبر.
٩. إبطاء زمن التجمد الابتدائي في حالة الأجواء الحارة.
١٠. تلوين الخرسانة

**أنواع المضافات :-** بالرغم من تعدد أنواع المضافات وأسمائها التجارية إلاّ أنها تندرج أساساً ضمن ثلاث تصنيفات رئيسية هي

1. إضافات مسرعة للتفاعل.
2. إضافات مبطئة للتفاعل.
3. إضافات مقللة للماء.
4. مضافات مانعة للرطوبة و مقاومة للاملاح و غيرها.

**عمل وانتاج الخرسانة** :- تنتج الخرسانة وفق الخطوات الاتية:-

١. تهيئة المواد وخزنها
٢. كيل المواد ومزجها
٣. نقل الخرسانة
٤. وضع الخرسانة ورصها
٥. انهاء سطح الخرسانة ووقايتها بعد الصب
٦. الانضاج
٧. نزع القالب ورفعه

١. **تهيئة المواد وخزنها** :- يتم خزن السمنت بطريقة تؤمن عزله عن الرطوبة الجوية والارضية حيث يحفظ السمنت الفل في صوامع معدنية خاصة والسمنت المكيس في محلات مسقفة او مغلقة بعيدا عن الرطوبة ويتم عزله بطبقة من النايلون. لا يستعمل السمنت المتاثر بالرطوبة ويمكن تمييزه بانه يحتوي على كتل شبه متصلبة لا تتفتت بسرعة. ام الركام فيصنف ويخزن باكداس في محلات الخزن بعيدا عن الرطوبة شتاءا او الحرارة صيفا ويجب عدم تلوث الركام بالاتربة.

٢. **كيل المواد ومزجها** :- يتم كيل (قياس) مواد الخلطة اما بطريق حجمية او وزنية وتعتبر الاخيرة ادق وتفضل في الاعمال الكبيرة والجيدة وذلك لعدم تاثر هذه الطريقة بالانتفاخ الذي يصيب الرمل نتيجة تعرضه للرطوبة حيث ان الرمل ينتفخ وتقل كثافته بنسبة تصل الى ٤٠%. تعتبر الطريقة الحجمية اسهل في مواقع العمل وتوجد هنالك عدة نسب لمواد الخرسانة حسب الغرض المراد انتاج الخرسانة له وهذه النسب هي:-

١:١,٥:٣ ، ١:٢:٤ ، ١:٢,٥:٥ ، ١:٣:٦ ، ١:٤:٨ وتزداد قوة الخرسانة المنتجة كلما زادت كمية الاسمنت بها. يتم مزج المواد بخلاطات الية لغرض اعطاء مزجة متجانسة وتستمر الخلاطة بالدوران مدة كافية (لا تقل عن دقيقة) ومن ثم تفرغ الخلطة في الاوعية الناقلة ولا يفضل صب الخرسانة على الارض من ثم تحميلها باوعية لان ذلك قد يسبب انعزال الخرسانة او تلويثها او بقاء قسم منها لفترة طويلة دون نقل.

٣. **نقل الخرسانة** :- بعد اكمال عملية الخلط تنقل الخرسانة لغرض صبها في القالب ويجب مراعاة النقاط التالية:-
- عدم السماح لمكونات الخرسانة بالانفصال
- عدم تلوث الخرسانة اثناء النقل

- اكمال نقل وصب الخرسانة بزمن اقل من تصلب الخرسانة
- تناسب الكمية المنقولة مع الكمية المطلوبة
- العامل الاقتصادي

توجد عدة وسائل لنقل الخرسانة ويتم استخدام كل وسيلة حسب نوع العمل وظروف الموقع وهي كالاتي:-

أ. العربات اليدوية:- وهي عبارة عن اوعية مدنية محمولة على هيكل معدني بعجلة مطاطية وان سعتها تتناسب مع قدرة العامل لغرض دفعها وتفريغ الخرسانة، تستعمل في الاعمال البسيطة والمسارات الضيقة والمسافات القصيرة.

ب. القلابات الالية (دمبر):- وهي ناقلات ذات محرك يعمل بالوقود مزودة بوعاء قابل للانقلاب الى الامام او الجانب لغرض تفريغ محتوياته، تتميز بكونها اقتصادية ومثالية لنقل الخرسانة للمسافات القصيرة والمتوسطة.

ت. الشاحنات الخلاطة:- وهي عبارة عن شاحنة مزودة بوعاء ذو سعة متوسطة او كبيرة له القابلية على الدوران لغرض خلط الخرسانة، تستعمل في الاعمال ذات الانتاجية العالية ولنقل الخرسانة من معامل انتاج الخرسانة الى مواقع العمل والتي عادة تكون االمسافات فيها طويلة ويجب ملاحضة الفترة الزمنية التي تستغرقها الشاحنة للوصول الى موقع العمل حيث اذا كانت الفترة الزمنية كبيرة يجب عدم اضافة الماء الا عند الوصول الى موقع العمل والاستفادة من دوران الوعاء لغرض خلط الخرسانة.

ث. الرافعات:- وهي على انواع متعددة منها:-

- *رافعات برجية (Tower cranes)* تقوم الرافعات البرجية بنقل الخرسانة افقيا وعموديا وتستعمل لتنفيذ مراحل مختلفة من العمل وليس لنقل الخرسانة فقط مما جعل استعمالها اقتصاديا في المشاريع ذات الابنية المتعددة والمرتفعة والمتقاربة فيما بينها. تتنقل الابراج افقيا على خط سكة حديدية او محمولة على اطارات وتعمل بالوقود او الكهرباء. تتوفر الرافعة بانواع متعددة اعتمادا على مقدار الحمولة والارتفاع والمدى الافقي للذراع. وعند استخدام هذا النوع من الرافعة لنقل الخرسانة يربط اليها قادوس ذو سعة مناسبة خاص لنقل وتفريغ الخرسانة. تكون القواديس بانواع مختلفة حسب طريقة تفريغها للخرسانة فمنها مايناسب السقوف او الاعمدة او غيرها. يحتاج العمل في القالب الى قادوسين من كل نوع واحد يوضع تحت الخلاطة لملئه والأخر يكون مربوطا الى الرافعة ومحملا بالخرسانة حيث يتم تفريغه في الموضع المطلوب ثم يعاد الى الخلاطة حيث يستبدل بالاخر الذي يكون قد تم ملئه في هذا الوقت.
- *رافعات حدودية (Portal cranes)* تفضل الرافعات الحدودية لنقل الخرسانة المصبوبة في معامل انتاج القطع الخرسانية الجاهزة. ان الشكل الحدودي لهذه الرافعة يجعلها عالية الثبات مما يجعلها مفضلة في الحمولات العالية. تتميز هذه الرافعة بانها تستند الى الجانبين وتسير في الغالب على خط سكة حديد وبامكانها نقل المنتوج في أي نقطة من مسارها الطولي. تستعمل في الحالات التي تصب فيها الخرسانة بمستوى سطح الارض تقريبا.
- *رافعة عمودية (Winch)* تعتبر شائعة الاستعمال في رفع الخرسانة عموديا الى السقوف والارضيات في الطوابق للمشاريع المتوسطة والصغيرة وتكون بنوعين :-

***النوع الاول*** عبارة عن رافعة خاصة بالخلاطات وتتالف من هيكل ساند خشبي في الغالب وفي نهايته العليا بكرة خاصة ويتعلق الوعاء الناقل بسلك فولاذي يتصل حول البكرة ويتم الرفع بواسطة محرك على الارض يعمل بالبانزين او الديزل. يملئ الوعاء من الخلاطة مباشرة حيث تكون الخلاطة قرب قاعدة الهيكل ويفرغ الوعاء في عربات يدوية حيث تنقل الخرسانة الى موضع العمل. تستعمل هذه الرافعات في عمل المزجات ذات قابلية تشغيل

عالية والتي يمكن تفريغها في الوعاء بسهولة وفي الاعمال البسيطة ولارتفاعات محددة وفي الحالات التي يتطلب فيها رافعة سهلة النصب والنقل الى محل عمل اخر.

***النوع الثاني*** عبارة عن رافعة عمودية تتكون من هيكل حديدي يستند الى طوابق البناء والارض ويتم الرفع بواسطة منصة متحركة ترفع بواسطة سلك فولاذي متصل حول بكرة علوية ويتم الرفع بمحرك مشابه للنوع الاول. يستعمل هذا النوع في مختلف مراحل البناء حيث ترفع به المواد الانشائية ايضا ويمكن تمديد هيكله بارتفاع البناء لعدة طوابق ويكون اما ثابتا طيلة مدة العمل او متحرك على عجلات تسهل نقله. ترفع الخرسانة بتفريغ المزجة في العربات اليدوية ثم ترفع تلك العربات بالمنصة للمنسوب المطلوب حيث يستلمها عامل في الاعلى ويوصلها الى محل الصب لتفريغها. تستعمل هذه الرافعات في الاعمال المتوسطة وقد ينصب اكثر من رافعة في البناية عند الحاجة.

ج. مضخات الخرسانة:- هي عبارة عن حوض يستلم الخرسانة توجد في قاعدته فتحة تؤدي الى اسطوانتين يتحرك فيهما مكبسان يدفعان االخرسانة الى خرطوم فولاذي او مطاطي احيانا، تتميز بالانتاجية العالية ونقل الخرسانة الى مافات عمودية تصل الى (٤٠ م) وافقية تصل الى (٣٠٠م) وتكون المضخات اما ثابتة او ذات اطارات وقابلة للقطر او محمولة على شاحنة سيارة.

٤. **وضع الخرسانة ورصها** :-

- توضع الخرسانة في مكانها بالقالب ويجب مراعاة نظافة القالب من بقايا الاسلاك المعدنية المستعملة في ربط حديد التسليح من أي مواد اخرى قد تضر الخرسانة ويجب ان يكون حديد التسليح نظيفا من الصدا ومثبت بصورة جيدة.
- عندما توضع الخرسانة بدون قالب كما في الاسس الجدارية يجب رص التربة وتسويتها ورصفها بطبقة من كسر الطابوق او الحصى او الحجر بسمك لا يقل عن (٧٠ ملم) مع وضع مونة سمنت رمل بنسبة ١:٥ لغرض ملئ الفراغات وتقليل امتصاص الماء.
- يجب ملاحضة عند اضافة خرسانة جديدة الى خرسانة قديمة تنظيف وجه الخرسانة القديمة جيدا واضافة مونة سمنت رمل بنسب ١:١ بسمك حوالي (١ سم).
- وضع الخرسانة في القالب قبل مضي ٣٠ دقيقة شتاءا و ٢٠ دقيقة صيفا بعد خلطها ورصها قبل مضي ٣٠ دقيقة بالصيف و ٤٠ دقيقة بالشتاء بعد خلطها.
- لا يجوز رمي الخرسانة من ارتفاع اكثر من ١,٥ م وذلك لانه يسبب عزل في مكونات الخرسانة، ولذا يجب عمل فتحات وسطية بالقالب كما في الاعمدة لصب الخرسانة.
- توضع الخرسانة بطبقات افقية بسمك ٣٠ سم حوالي في حالة كون الصبة سميكة ويجب ان لا تمضي فترة زمنية طويلة قبل صب الطبقة التالية.
- في حالة الجدران بصورة عمودية يجب ان لا يتجاوز ارتفاع الصب اكثر من ١,٥ م صيفا و ١م شتاءا في الساعة الواحدة لتقليل الضغط المسلط على الخرسانة الغير متصلبة.
- لا يجوز صب الخرسانة في المطر لانه يؤدي الى رداءة نوعية الخرسانة في الجزء العلوي وضعف ترابطها.
- في حالة الصب المائل يتم صب الخرسانة من الاسفل للاعلى بدون قالب علوي وفي حالة الانحدار الشديد يتم اضافة قالب علوي لمنع جريان الخرسانة للاسفل اثناء الرص.

ترص الخرسانة حال وضعها بوسائل يدوية عن طريق قضبان حديدية او اوتاد خشبية تطعن في داخل الخرسانة، وتستعمل المطارق لرص الخرسانة الموضوعة في قوالب ضيقة مثل الاعمدة. لا يعتبر الرص اليدوي من الاساليب الكفوئة ويستخدم في حالة تعذر الرص الالي. ترص الخرسانة اليا بعدد من الوسائل تشمل:-

- الرص بالهزازات:- هو عبارة عن محرك صغير يعمل بالوقود يقوم باصدار حركات لا تمركزية بتردد عالي تنتقل الى الخرسانة بوسائل معينة حسب نوع الهزاز وتقوم هذه الحركات برص الخرسانة ويوجد اربع انواع من الهزازات وهن هزازات داخلية غاطسة بالخرسانة وهزازات سطحية وهزازات قالبية وطاولات اهتزاز.
- الرص بالكبس الهيدروليكي:- يستعمل في انتاج الكاشي والكتل الخرسانية
- الرص بالمطارق الالية:-تستخدم في رص الخرسانة في بعض انواع الركائز.

٥. **انهاء الخرسانة ووقايتها بعد الصب:-** يسوى سطح الخرسانة بعد اكمال الرص بالمنسوب المطلوب وينهى حسب الرغبة كأن يكون صقيلا او خشنا. يستعمل المالج الخشبة او الحديدي عادة في الانهاء. يجب وقاية الخرسانة حديثة الصب من تاثير المطر وكل ما يسبب جفافها كالرياح الشديدة والحرارة واشعة الشمس وذلك بتغطيتها او تظليلها الى الوقت الذي يصبح السطح صلدا بدرجة كافية لبدء الانضاج.

٦. **الانضاج:-** وهي أي عملية تساعد في منع او تقليل تبخر الماء من الخرسانة كي يتمكن السمنت من التفاعل مع الماء لغرض تصلد الخرسانة والحصول على تحمل مقبول، يستمر الانضاج للخرسانة من ٧ الى ١٤ يوم تبعا لدرجات الحرارة ورطوبة الجو والرقم الاخير للجو الحار الجاف، ومن الاساليب الشائعة في الانضاج هي:-

أ. الرش المستمر بالماء:- يستخدم للسطوح الافقية والعمودية ويعتبر غير عملي بسبب الحاجة الى عمال الرش ومصدر الماء باستمرار.

ب. الغمر بالماء:- يتم وضع مصدات من التراب او الرمل حول محيط السطح وغمره بالماء. وتعتبر عملية لمعظم الاعمال.

ت. التغطية بطبقة مبللة من التراب او الرمل:- تغطى السطوح بطبقة من الرمل او التراب (٥ سم) ويتم تبليلها باستمرار، تحافظ هذه الطريقة على الخرسانة من الشمس وتعتبر غير اقتصادية.

ث. التغليف بالاغطية البلاستيكية:- تبلل السطوح الخرسانية بالماء بصورة كاملة ويتم تغطيتها بغشاء بلاستيك لمنع التبخر.تحافظ هذه الطريقة على الخرسانة من تاثير الرياح والشمس.

ج. التغليف بالقماش الماص:- تستعمل لانضاج الاوجه الخرسانية العمودية حيث تغلف بقماش ماص مثل الجنفاص ويبلل القماش باستمرار.

ح. الطلاء بالمواد الخاتمة للمسام:- عند تصلب الخرسانة تنظف وتبلل بالماء ثم تطلى سطوحها الخارجية بمواد اسفلتية او كيماوية خاتمة للمسام.

خ. الانضاج بالبخار:- يتم تعريض الخرسانة لتاثير بخار الماء تحت الضغط الجوي الاعتيادي او تحت ضغط واطئ ويستخدم هذا الاسلوب في انضاج الخرسانة السابقة الصب.

د. الانضاج المعجل بوسائل اخرى:- مثل رفع درجة الحرارة بدون استعمال البخار مثل الغازات الملتهبة او الملفات المسخنة او تسليط تيار كهربائي متناوب، او تعريض الخرسانة للاشعة تحت الحمراء.

**فحوصات الخرسانة و المواد الداخلة فيها:**

بعض الفحوصات تتم قبل المباشرة باعمل الصب ( فحوصات المواد ) وبعضها اثناء الصب والبعض الاخر بعد الصب:

يتم فحص المواد الداخلة بتركيب الخرسانة ( سمنت ، رمل ، حصى ، المضافات ، الماء) بموجب المواصفات الفنية القياسية لكل مادة ويشترط توفر معايير النجاح لكي تستخدم في الخرسانة. فالسمنت يتم فحصه فيزياويا و كيمياويا بعد تحديد نوع السمنت المطلوب استخدامه في الخلطة الخرسانية وفي حالة عدم فشل النموذج في الفحص يتم استبدال الاسمنت بنوع اخر .

اما الركام الناعم والخشن ( الرمل و الحصى ) فيتم فحص التدرج و الاملاح و المواد الكيمياوية و نسبة التكسير والاطيان و المواد العضوية وحسب نوع الخرسانة المطلوبة لتحديد نسب الاستخدام.

اما الماء فيتم فحصه من حيث نسبة الاملاح و المواد العالقة وصلاحية استخدامه .

المضافات يتم فحصها كيمياويا و فحص خواصها التي تضيفها للخرسانة بشكل فحوصات مسبقة حسب نسبة الخلط المطلوبة.

اثناء الصب يتم فحص درجة حرارة الخرسانة والتي يجب ان لا تزيد عن ٣٢ درجة مئوية ، كذلك يتم فحص الهطول للخرسانة( slump test) قبل الصب مباشرة والذي يتحدد حسب الخلطة ونوع المنشأ المراد صبه .

ويتم اخذ مكعبات الخرسانة اثناء عملية الصب و بشكل ممثل لجميع الكمية وبموجب المواصفات العالمية وترقم المكعبات و يسجل اسم المشروع و اليوم ويتم كسر المكعبات بعمر ٧ و ٢٨ يوم لفحص مقاومة الكسر وتقارن بالمقاومة المطلوبة.

هناك بعض الفحوصات التي تجرى على الخرسانة بعد الصب وهي فحوصات لا اتلافية في حال ظهور نتيجة المكعبات اقل من المقاومة المطلوبة والغرض منها تقييم ملائمة الخرسانة المستخدمة للمنشأ ( واجب للطلبة ).

**نزع القالب ورفعه:-** في محاضرة القوالب.